



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **45315** (13) **U**  
(51) МПК (2009)  
H02M 3/22

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під  
відповідальність  
власника  
патенту

**(54) СПОСІБ РЕГУЛЮВАННЯ ВИХІДНИХ ПАРАМЕТРІВ ПОСЛІДОВНО-РЕЗОНАНСНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ПОСТІЙНОЇ НАПРУГИ**

1

2

(21) u200903319

(22) 07.04.2009

(24) 10.11.2009

(46) 10.11.2009, Бюл.№ 21, 2009 р.

(72) ПОКРОВСЬКИЙ МИХАЙЛО ВОЛОДИМИРОВИЧ, ПАВЛОВ ГЕННАДІЙ ВІКТОРОВИЧ, ОБРУБОВ АНДРІЙ ВАЛЕРІЙОВИЧ, НІКІТИНА ОЛЕНА ВОЛОДИМИРІВНА, ЩЕРБІНІН ТИМОФІЙ ВОЛОДИМИРОВИЧ

(73) НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА

(57) Спосіб регулювання вихідних параметрів послідовно-резонансного перетворювача постійної

напруги, згідно з яким напругу інвертують на транзисторному мості двомостового перетворювача з наступним випрямленням на діодному мості та згладжуванням на фільтруючих елементах, який **відрізняється** тим, що регулювання вихідних параметрів послідовно-резонансного перетворювача постійної напруги здійснюють за допомогою мікроконтролерної системи управління шляхом циклічної зміни елементарних алгоритмів комутації ключів синхронно із переходом резонансного струму через нуль при частоті комутації силових ключів, рівній резонансній частоті контуру.

Корисна модель відноситься до перетворювальної техніки, зокрема до способів регулювання вихідних параметрів послідовно-резонансних перетворювачів, та може бути застосована для регулювання вихідних параметрів послідовно-резонансних перетворювачів у різноманітних перетворювальних системах.

Широко відомий широтний спосіб регулювання вихідних параметрів послідовно-резонансних перетворювачів (ПРП), який полягає у зміні тривалості підключення навантаження інвертора до джерела живлення при стабільній частоті комутації [Кулик В.Д. Способи и устройства широтного регулирования напряжения резонансных тиристорных инверторов // Электричество. - 1975. - №9. - с.57-60]. Даний спосіб характеризується великими динамічними втратами потужності на силових ключах внаслідок неоптимальних умов комутації (перемикання ключів не тільки в нулі струму або напруги) та можливістю появи циркуляційних струмів, що призводить до зниження ККД пристрою.

Найбільш поширеним є частотний спосіб регулювання вихідних параметрів ПРП, який полягає у зміні частоти комутації силових ключів при зміні вхідної напруги або струму навантаження інвертора [Павлов Г.В., Обрубов А.В., Покровський М.В. Резонансні перетворювачі в пристроях суднової

автоматики і системах управління./за ред. Г.В. Павлова - Миколаїв, УДМТУ. - 2003р - с.14-17]. Характерними для даного способу є значне обмеження діапазону регулювання, неоптимальні умови комутації при значному відхиленні від номінальної комутаційної частоти, значна нелінійність регульовальної характеристики. Ці особливості не дозволяють використовувати можливості ПРП у широкому діапазоні регулювання, значно зменшують його ефективність та ККД.

В основу корисної моделі поставлено задачу вдосконалення способу регулювання вихідних параметрів послідовно-резонансного перетворювача постійної напруги, в якому шляхом циклічної зміни елементарних алгоритмів комутації силових ключів синхронно із переходом резонансного струму через нуль забезпечують лінійність регульовальних характеристик та синусоїдальну форму резонансного струму, що дозволяє отримувати вищі значення ККД та забезпечити зручність регулювання.

Поставлена задача вирішується тим, що у способі регулювання вихідних параметрів послідовно-резонансного перетворювача постійної напруги, за яким напругу інвертують на транзисторному мості двомостового перетворювача з наступним випрямленням на діодному мості та згладжуван-

(19) **UA** (11) **45315** (13) **U**

ням на фільтруючих елементах, згідно з пропозицією, регулювання вихідних параметрів послідовно-резонансного перетворювача постійної напруги здійснюють за допомогою мікроконтролерної системи управління шляхом циклічної зміни елементарних алгоритмів комутації силових ключів синхронно із переходом резонансного струму через нуль при частоті комутації силових ключів, рівній резонансній частоті контуру.

Регулювання вихідних параметрів зміною елементарних алгоритмів комутації дозволяє досягнути лінійності регулювальних характеристик, оскільки керуюча величина в даному випадку незалежна від параметрів перетворювальної системи. Зміна елементарних алгоритмів комутації виключно при нульових значеннях резонансного струму забезпечує оптимальні умови комутації силових ключів ПРП, що істотно зменшує динамічні втрати потужності на ключах, а, отже, збільшує ККД ПРП та дає можливість збільшити частоту перетворення ПРП. Застосування мікроконтролерної системи управління дозволяє уникнути ускладнення конструкції силової частини перетворювача, що спрощує його впровадження на виробництві. При застосуванні запропонованого способу регулювання в залежності від вхідної напруги джерела, величини навантаження та необхідної напруги на навантаженні визначається кількість та тривалість дії елементарних алгоритмів комутації транзисторів протягом періоду перетворення. При першому алгоритмі комутації енергія відбирається від джерела електроживлення через інвертор, при другому - джерело електроживлення не бере участь у енергообміні, при третьому - енергія надходить до джерела електроживлення. Час, протягом якого діє перший алгоритм назвемо фазою перетворення  $F_r$ , час, протягом якого діє другий алгоритм - фазою перетворення  $D_s$ , а час, протягом якого діє третій алгоритм - фазою перетворення  $R_v$ . Синхронна із переходом резонансного струму через нуль зміна елементарних алгоритмів комутації транзисторів досягається синхронно із даним переходом зміною керуючих сигналів. Реакція системи управління на нульовий рівень резонансного струму в цьому випадку подібна до реакції двопозиційного реле, тому для зручності запропонований спосіб було вирішено назвати релейним способом регулювання вихідних параметрів ПРП.

На Фіг.1 подано блок-схему перетворювальної системи на основі ПРП постійного струму із мікроконтролерною системою управління, на Фіг.2 подано алгоритм роботи системи управління, на Фіг.3 - осцилограми резонансного струму та керуючої напруги для тринадцяти застосувань першого елементарного алгоритму комутації ( $p_{r1}$ ) за період перетворення (режим неперервних струмів), на Фіг.4 - осцилограми резонансного струму та керуючої напруги для дев'яти застосувань першого елементарного алгоритму комутації ( $p_{r1}$ ) за період перетворення (режим уривчастих струмів), на Фіг.5 - регулювальні характеристики ПРП з частотним способом регулювання, на Фіг.6 - регулювальні характеристики ПРП з релейним способом регулювання.

ПРП із релейним способом регулювання вихідних параметрів у загальному вигляді може бути поданий як сукупність джерела ЕРС 1, підключеного до керованого транзисторного моста інвертора 2, резонансного контура, сформованого послідовним з'єднанням резонансної індуктивності 3 та резонансної ємності 4 з включеним послідовно датчиком резонансного струму 9, підключеного послідовно до транзисторного моста 2 та діодного моста випрямляча 5, фільтруючої ємності 6 та навантаження 7, з'єднаних паралельно, датчика напруги на навантаженні 8, та мікроконтролерної системи управління, яка містить мікроконтролер 10, пристрій синхронізації (ПС) 11, піковий детектор (ПД) 12.

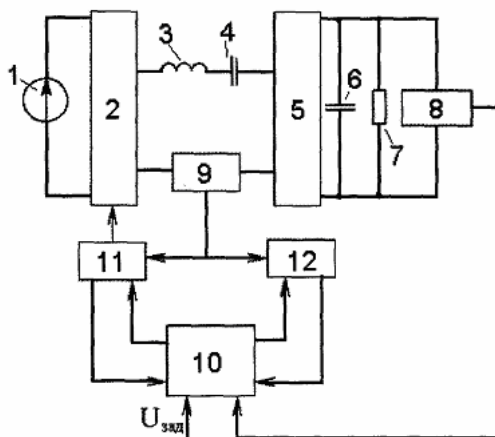
Для експериментального пристрою обраний мікроконтролер ATmega16 сімейства AVR фірми Atmel, в якості пристрою синхронізації використаний ТТ-тригер типу SN74L126, піковий детектор виконаний на компараторі LM 361 фірми National Semiconductor, в мостах застосовані силові IGBT-транзистори типу IRG4BC30UD із зворотніми діодами та драйверами в інтегральному виконанні, силові діоди КД29981, резонансна ємність набрана з силових конденсаторів КВИ-3.

Запропонований спосіб полягає у тому, що постійну напругу, яка подається від джерела 1 інвертують на транзисторному мості 2 із підключеним послідовно резонансним контуром, утвореним послідовним з'єднанням резонансної індуктивності 3 та ємності 4, потім випрямляють на діодному мості 5 та згладжують на фільтруючій ємності 6. Мікроконтролер 10 попередньо встановлює керуючий сигнал  $U_{кер}$ , за допомогою якого пристрій синхронізації 11 визначає елементарний алгоритм комутації силових ключів і змінює керуючі сигнали для ключів інвертора при зміні полярності резонансного струму. Комутація відбувається за сигналом синхронізації  $U_{синхр}$ , який виробляє пристрій синхронізації 11 у момент переходу струму через нуль.

За алгоритмом, поданим на Фіг.2, на початку роботи відбувається примусовий запуск перетворювача. Потім згідно імпульсам синхронізації від пристрою синхронізації 11 мікроконтролер 10 виконує аналіз поточної фази перетворення за допомогою керуючого масиву, який сформовано на основі різниці вихідної напруги перетворювача і заданої напруги. На початку фази перетворення  $D_s$  має відбутися запуск таймауту на  $p_{Ds}$  напівперіодів резонансних коливань. При завершенні таймауту буде виконуватися процедура примусового запуску ПРП (для забезпечення стабільності роботи ПРП у зоні переривчастих струмів). Після аналізу поточної фази перетворення мікроконтролер 10 формує сигнал  $U_{кер}$  для пристрою синхронізації 11 на наступний напівперіод резонансних коливань. Якщо досягнутий кінець масиву, то забороняється процедура завершення таймауту, скидається піковий детектор 12, має виконуватися запуск процедури вимірювання напівперіода резонансних коливань і перехід до початку нового періоду перетворення. Піковий детектор 12 формує напругу  $U_{max}$  відповідно до максимального значення резонансного струму. Якщо ця напруга перевищує заданий рівень, то має виконуватися про-

цедура аварійного завершення періоду перетворення за допомогою переходу до фази перетворення  $R_v$ . Паралельно основному алгоритму має відбуватися вимірювання вихідної напруги перетворювача і формування нового керуючого масиву.

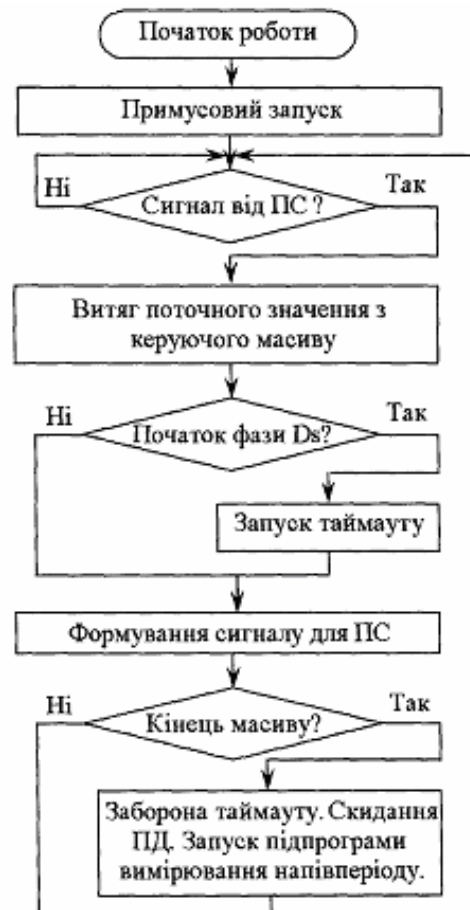
Експериментальний зразок системи керування, побудований на основі мікроконтролера AT-Mega16 сімейства AVR, дозволив виконувати комутацію ключів з частотою до 100кГц. Для підвищення частоти комутації можливо використання двох мікроконтролерів: перший виконує функції керування інвертором, другий - функції автоматичного регулятора. На Фіг.3 та Фіг.4 подано експериментальні осцилограми, отримані при наступних параметрах: часова шкала - 20мкс/поділ., резонансний струм - 5А/поділ., керуюча напруга - 2,5В/поділ., загальна кількість напівперіодів резонансних коливань за період перетворення -  $n=18$ . Як можемо бачити з вищевказаних фігур, коливання резонансного струму мають синусоїдальний характер протягом усього періоду перетворення, тоді як у прототипа спостерігався кусково-



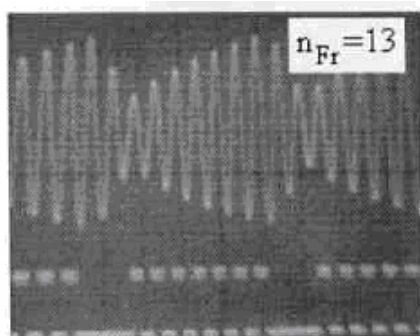
Фіг. 1

синусоїдальний, або у деяких режимах кусково-експоненціальний характер коливань. На Фіг.5 та Фіг.6 подано відповідно регульовальні характеристики ПРП з частотним та релейним способами регулювання вихідних параметрів, отримані для еквівалентних відносних навантажень (відношення еквівалентного навантаження до номінального навантаження)  $RH^*=0,2$  (крива 1),  $RH^*=0,9$  (крива 2) та  $RH^*=1,2$  (крива 3).

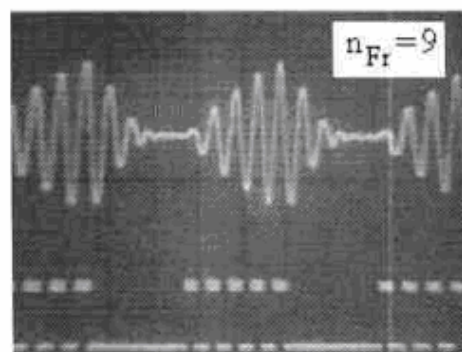
Таким чином, застосування релейного способу регулювання вихідних параметрів ПРП постійної напруги, реалізованого за допомогою мікроконтролерної системи управління, дозволяє отримати практично лінійні регульовальні характеристики порівняно із суттєво нелінійними характеристиками прототипа, як можемо бачити з порівняння Фіг.5 та Фіг.6. Експериментальний зразок також показав високий ККД у 92%, що на 3-4% перевищує показники прототипа, синусоїдальний характер резонансного струму протягом усього періоду перетворення та виявився достатньо малогабаритним.



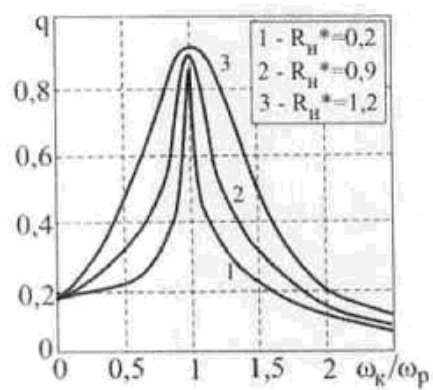
Фіг. 2



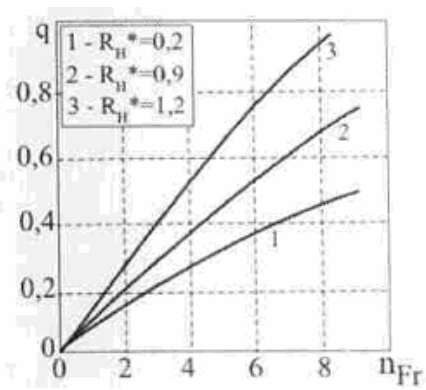
Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6